

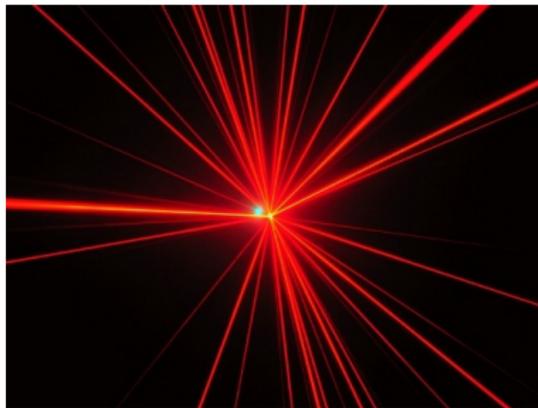
# Trois modèles célèbres en Physique

# Le rayon lumineux

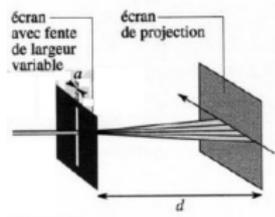
# Le rayon lumineux : Onde ou rayon ?



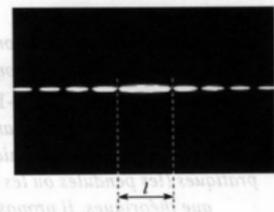
# Le rayon lumineux : Onde ou rayon ?



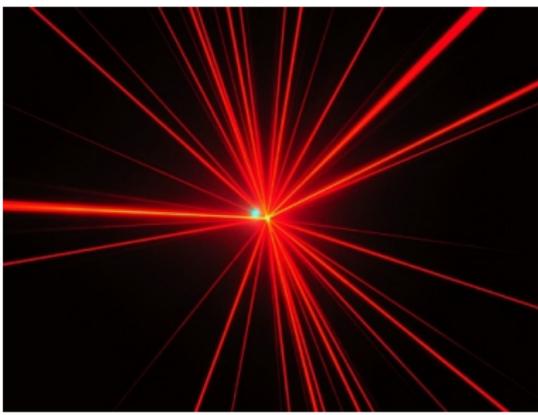
# Le rayon lumineux : Onde ou rayon ?



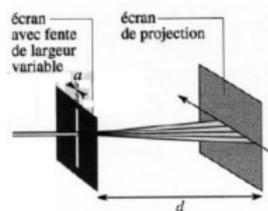
*Diffraction d'un faisceau laser par une fente fine.*



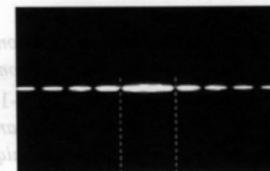
*Diffraction d'un faisceau laser par une fente.*



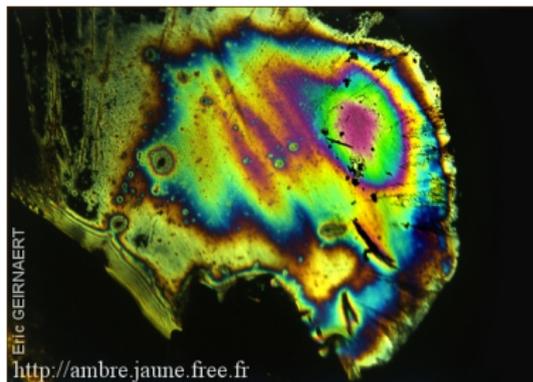
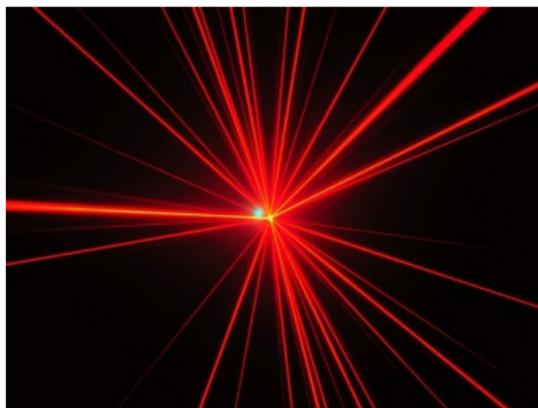
# Le rayon lumineux : Onde ou rayon ?



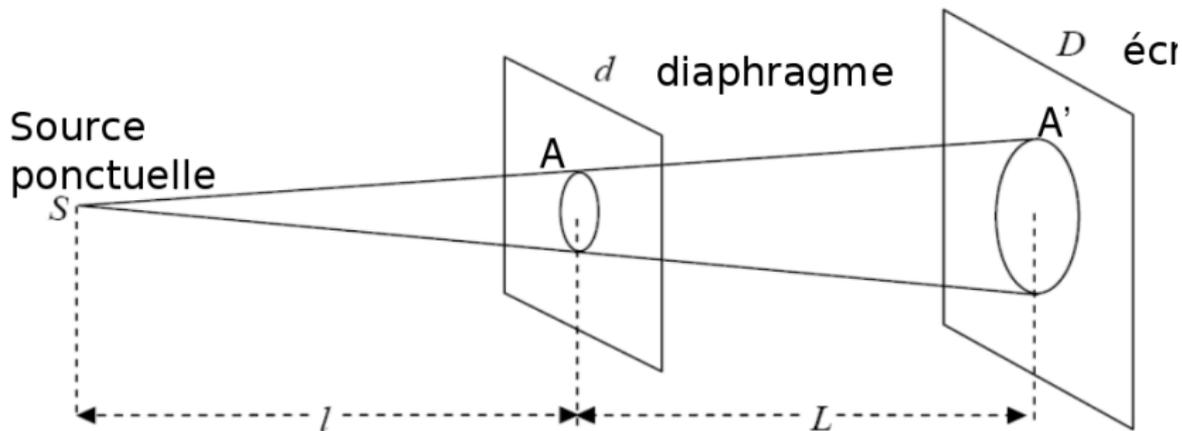
Diffraction d'un faisceau laser par une fente fine.



Diffraction d'un faisceau laser par une fente.



# Le rayon lumineux : modèle

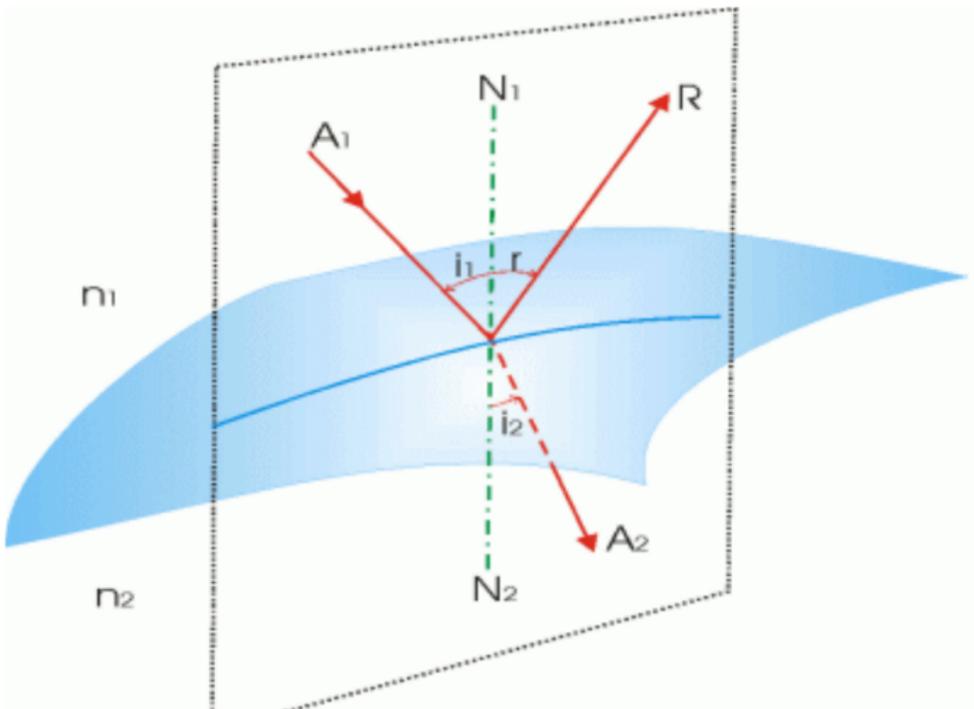


Un rayon lumineux est une **abstraction géométrique** : c'est le chemin emprunté par la lumière pour aller d'un point à un autre.

Dans un milieu homogène, ce chemin est une **ligne droite**.

# Le rayon lumineux

## Réflexion et Réfraction



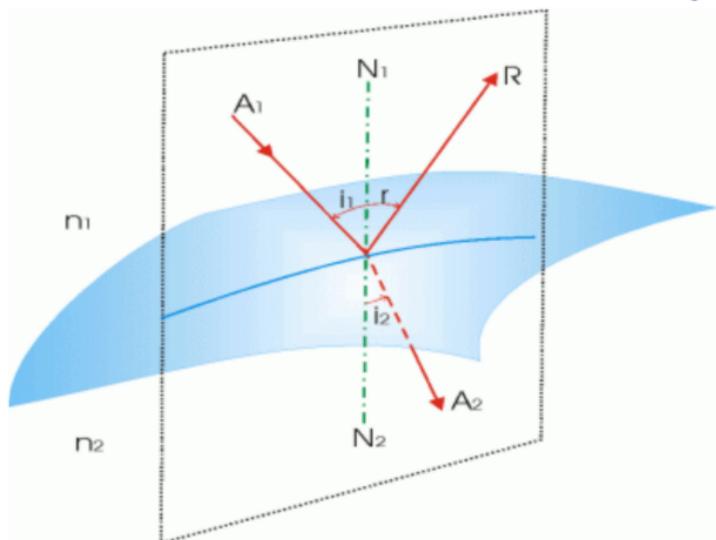
# Le rayon lumineux



- L'indice de réfraction d'un milieu quantifie sa **capacité à déformer** un rayon issu de l'air.

# Le rayon lumineux

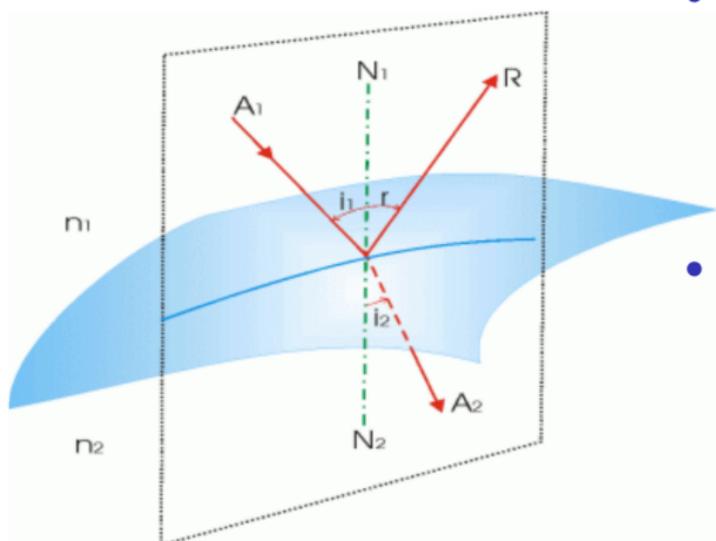
## Réflexion et Réfraction



- Une réfraction est toujours accompagnée d'une réflexion telle que :  $r = i_1$

# Le rayon lumineux

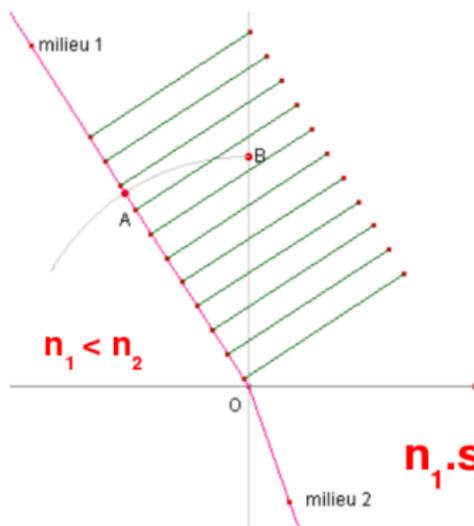
## Réflexion et Réfraction



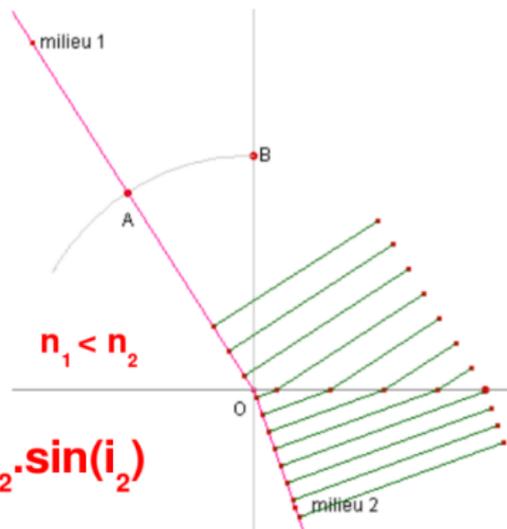
- Une réfraction est toujours accompagnée d'une **réflexion** telle que :  $r = i_1$

- Loi de la réfraction :  
 $n_1 \cdot \sin(i_1) = n_2 \cdot \sin(i_2)$

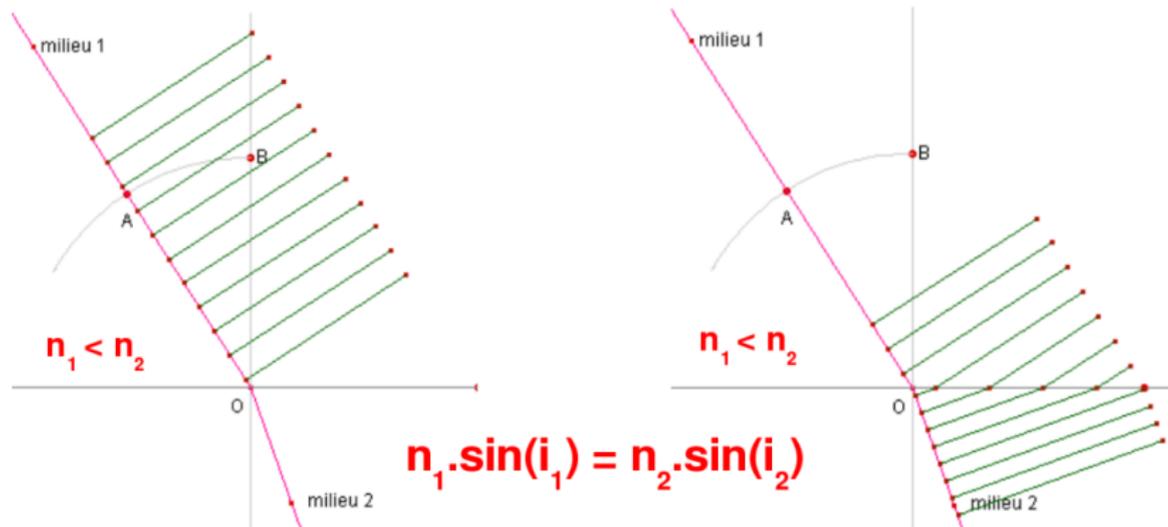
# Le rayon lumineux



$$n_1 \cdot \sin(i_1) = n_2 \cdot \sin(i_2)$$

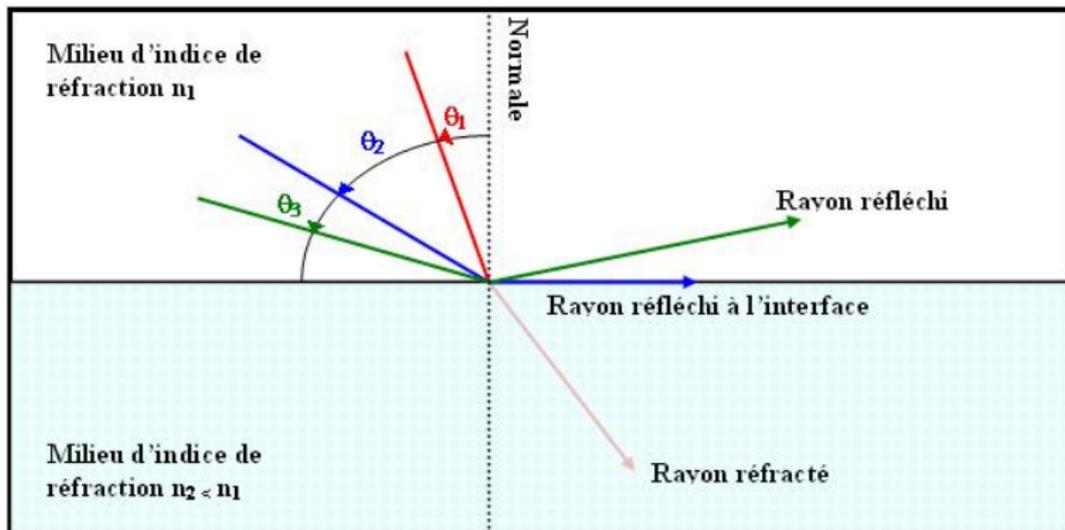


# Le rayon lumineux

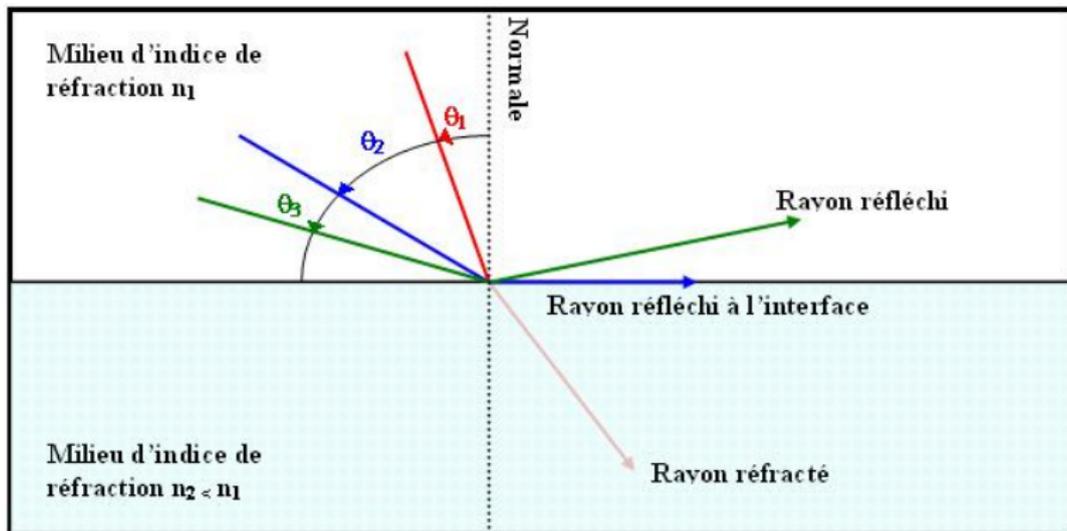


- Un rayon lumineux tend à se diriger **vers les milieux d'indice élevé** !

# Le rayon lumineux



# Le rayon lumineux

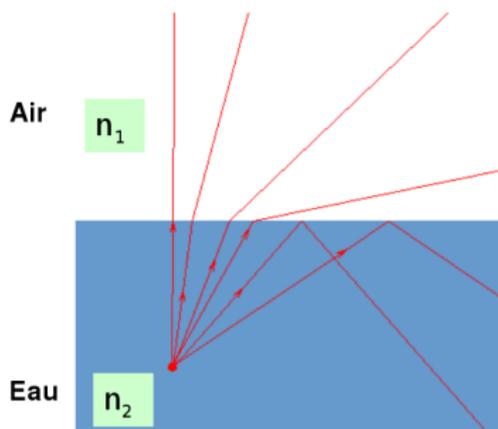


- Il existe donc un angle limite au-delà duquel il y a **réflexion totale** !

# Le rayon lumineux

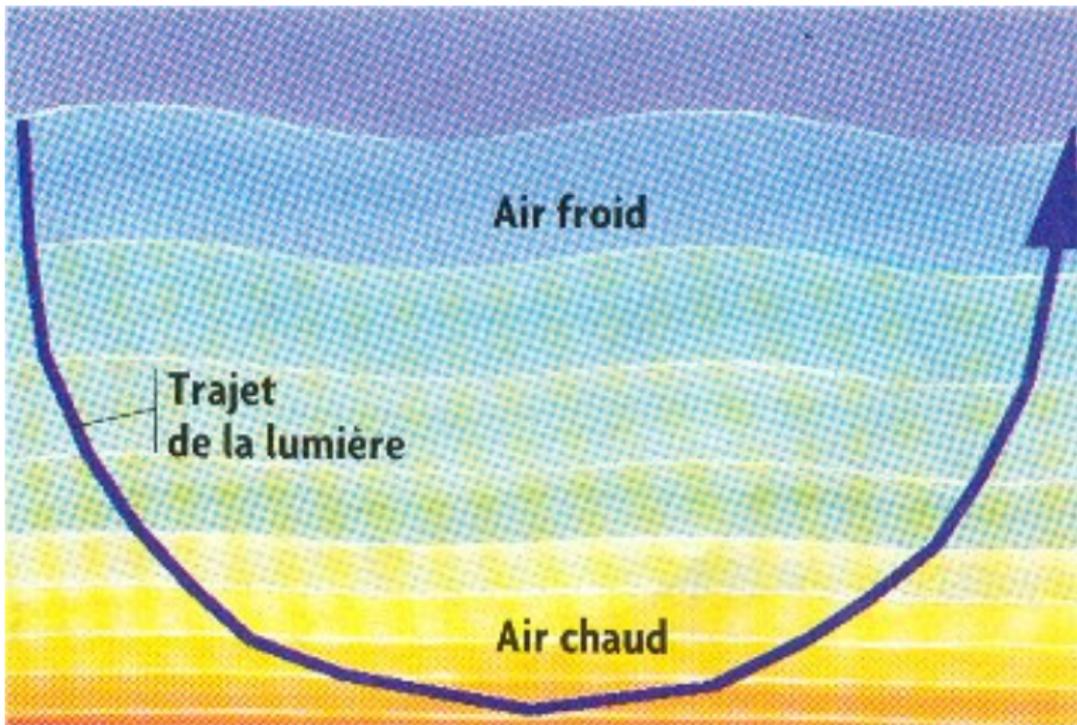
## Réflexion totale

La **réflexion totale** n'est possible que lors du passage de la lumière vers un milieu moins réfringent ( $n_1 > n_2$ ).

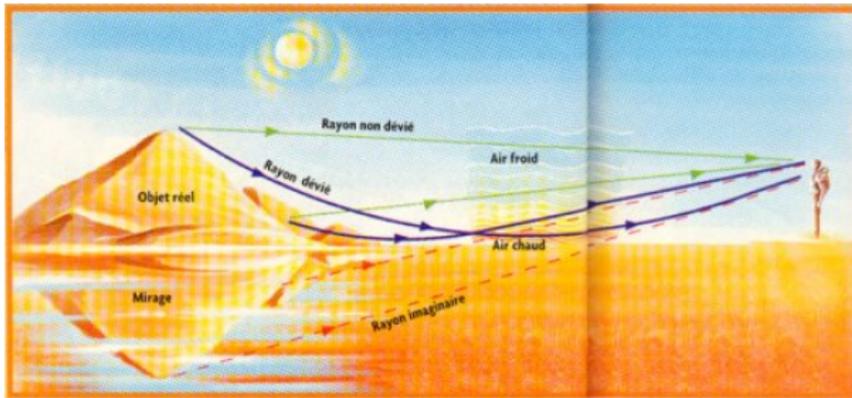


52

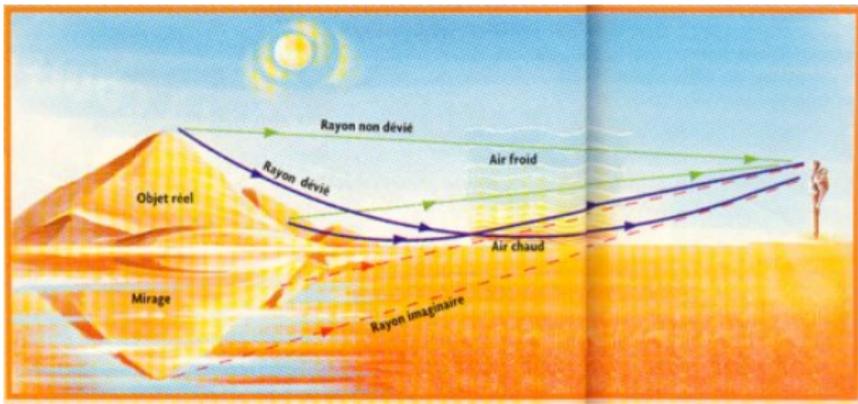
# Le rayon lumineux



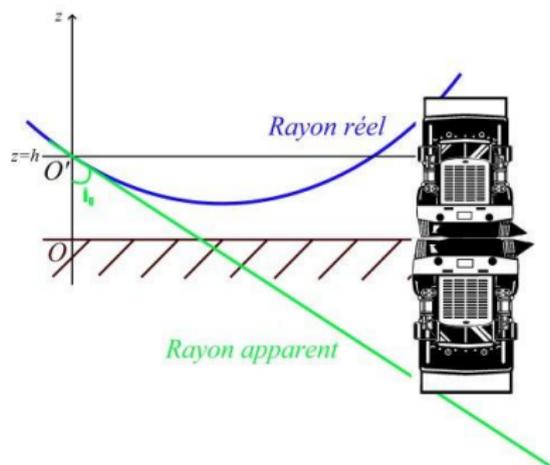
# Le rayon lumineux



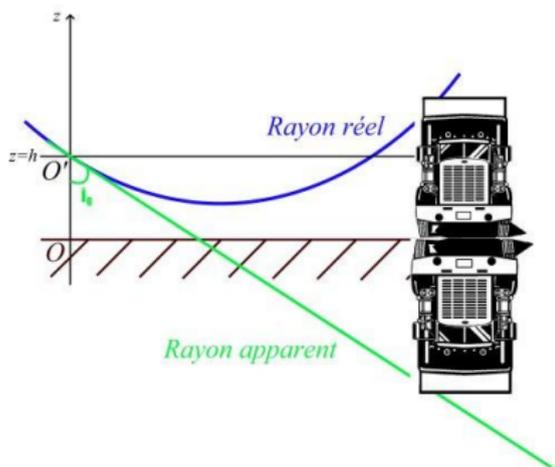
# Le rayon lumineux



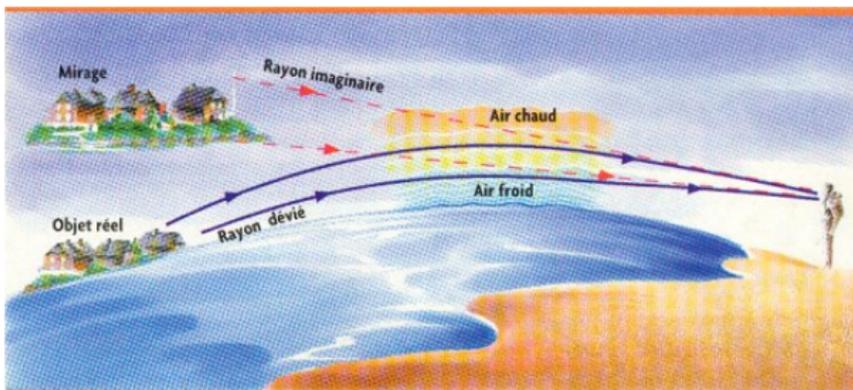
# Le rayon lumineux



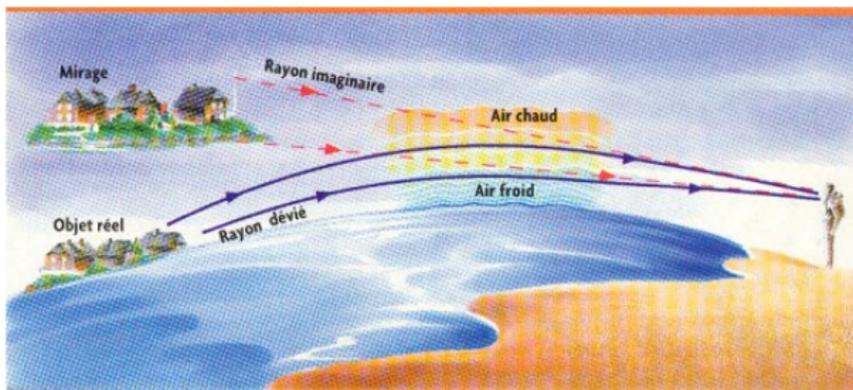
# Le rayon lumineux



# Le rayon lumineux



# Le rayon lumineux



# Le modèle de l'atome

# Le modèle de l'atome

## Sources :

- <http://www.jf-doucet.com/approche/Produits/Decouverte/Atomplanete/ModelPlanetaire.htm>
- <http://sciencesphy.free.fr/Atomes/ModeleRutherford.htm>

# Le modèle de Dalton

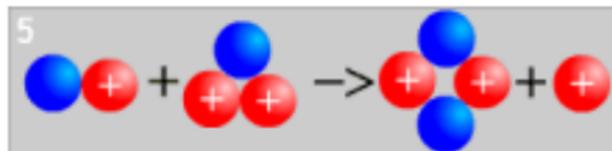
- 19<sup>e</sup> siècle : Dalton s'inspire de Démocrite et décrit le premier modèle d'atome : des **sphères pleines insécables** (1803).

# Le modèle de Dalton

- 19<sup>e</sup> siècle : Dalton s'inspire de Démocrite et décrit le premier modèle d'atome : des **sphères pleines insécables** (1803).
- Ces sphères servent à expliquer les réactions chimiques simples.

# Le modèle de Dalton

- 19<sup>e</sup> siècle : Dalton s'inspire de Démocrite et décrit le premier modèle d'atome : des **sphères pleines insécables** (1803).
- Ces sphères servent à expliquer les réactions chimiques simples.



# Le modèle de Thomson (1)

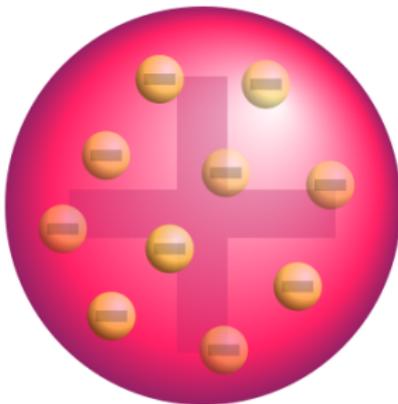
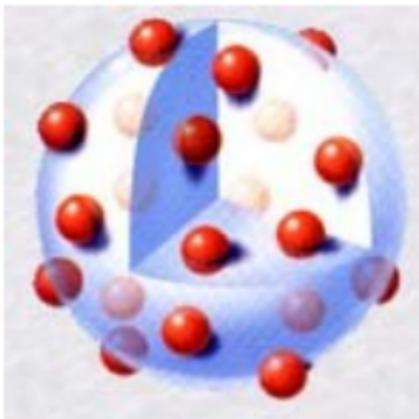
- Découverte de l'électron (Thomson, 1898)

# Le modèle de Thomson (1)

- Découverte de l'**électron** (Thomson, 1898)
- Thomson sait qu'il y a des **charges électriques** dans les atomes, et propose un modèle : le **pudding aux prunes** !

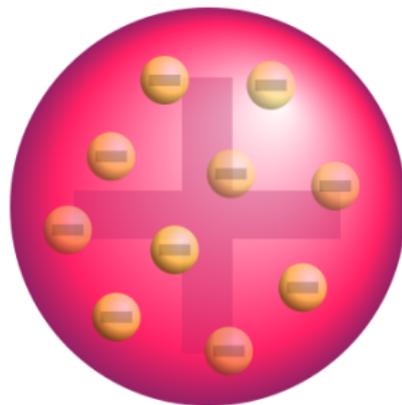
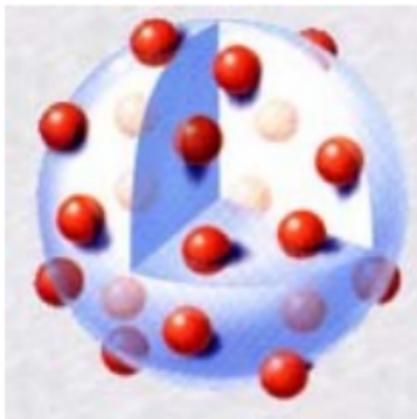
# Le modèle de Thomson (1)

- Découverte de l'électron (Thomson, 1898)
- Thomson sait qu'il y a des charges électriques dans les atomes, et propose un modèle : le pudding aux prunes !



# Le modèle de Thomson (1)

- Découverte de l'électron (Thomson, 1898)
- Thomson sait qu'il y a des charges électriques dans les atomes, et propose un modèle : le pudding aux prunes !



- Ce modèle peut expliquer qu'on attire des morceaux de papier en frottant du plastique !

# Le modèle de Thomson (2)

## La fameuse expérience de **Rutherford** (1911) :

- Cet élève de Thomson va invalider le modèle précédent, en envoyant des particules  $\alpha$  sur une feuille d'or.

## Le modèle de Thomson (2)

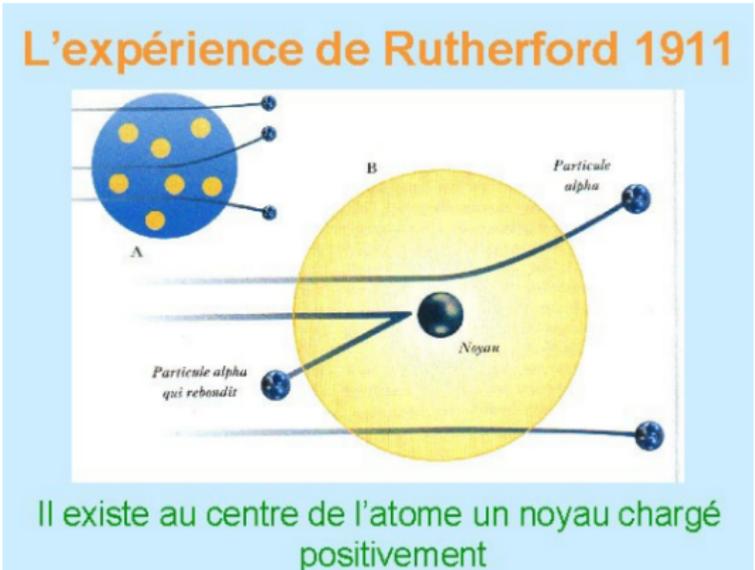
### La fameuse expérience de Rutherford (1911) :

- Cet élève de Thomson va invalider le modèle précédent, en envoyant des particules  $\alpha$  sur une feuille d'or.
- La majorité traverse la feuille ET certaines reviennent en arrière !

# Le modèle de Thomson (2)

La fameuse expérience de **Rutherford** (1911) :

- Cet élève de Thomson va invalider le modèle précédent, en envoyant des particules  $\alpha$  sur une feuille d'or.
- La majorité traverse la feuille ET certaines reviennent en arrière !



# Le modèle de Rutherford (1)

Déduction de l'expérience de rutherford :

# Le modèle de Rutherford (1)

Déduction de l'expérience de rutherford :

- L'atome **comporte un noyau** massif très petit et de même charge (+) que les particules  $\alpha$  qui rebondissent

# Le modèle de Rutherford (1)

Déduction de l'expérience de rutherford :

- L'atome **comporte un noyau** massif très petit et de même charge (+) que les particules  $\alpha$  qui rebondissent
- L'atome est quasiment **VIDE!**

# Le modèle de Rutherford (1)

## Déduction de l'expérience de rutherford :

- L'atome **comporte un noyau** massif très petit et de même charge (+) que les particules  $\alpha$  qui rebondissent
- L'atome est quasiment **VIDE!**
- Si le noyau était une **orange**, l'atome ferait **la taille de Paris!**

# Le modèle de Rutherford (1)

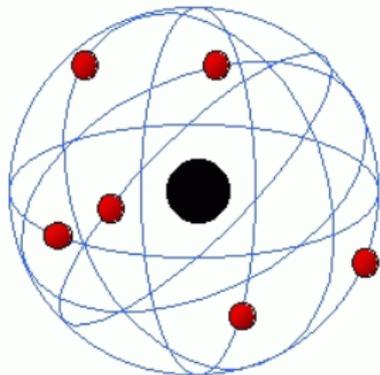
## Déduction de l'expérience de rutherford :

- L'atome **comporte un noyau** massif très petit et de même charge (+) que les particules  $\alpha$  qui rebondissent
- L'atome est quasiment **VIDE!**
- Si le noyau était une **orange**, l'atome ferait **la taille de Paris!**
  
- Rutherford propose alors un modèle d'atome planétaire :

# Le modèle de Rutherford (1)

## Déduction de l'expérience de rutherford :

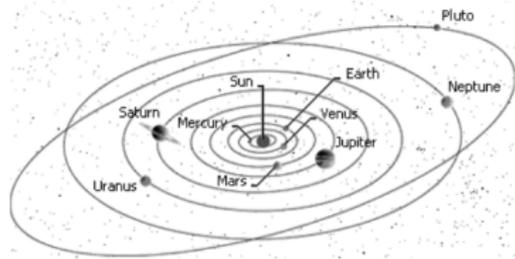
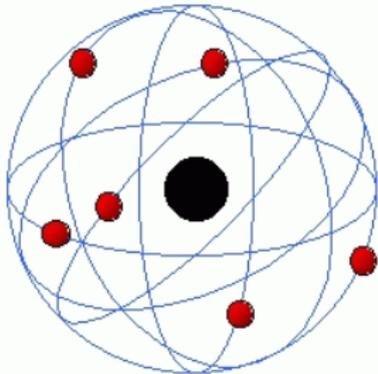
- L'atome **comporte un noyau** massif très petit et de même charge (+) que les particules  $\alpha$  qui rebondissent
- L'atome est quasiment **VIDE**!
- Si le noyau était une **orange**, l'atome ferait **la taille de Paris**!
  
- Rutherford propose alors un modèle d'atome planétaire :



# Le modèle de Rutherford (1)

## Déduction de l'expérience de rutherford :

- L'atome **comporte un noyau** massif très petit et de même charge (+) que les particules  $\alpha$  qui rebondissent
- L'atome est quasiment **VIDE**!
- Si le noyau était une **orange**, l'atome ferait **la taille de Paris**!
- Rutherford propose alors un modèle d'atome planétaire :



## Le modèle de Rutherford (2)

### Les limites du modèle de Rutherford :

- Problème : un électron qui tourne autour de son noyau devrait normalement **rayonner de la lumière**.

## Le modèle de Rutherford (2)

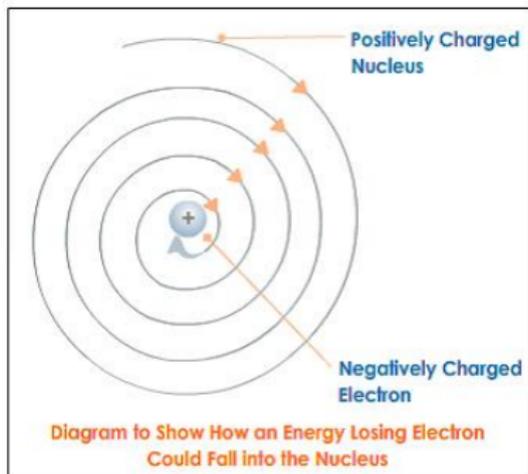
### Les limites du modèle de Rutherford :

- Problème : un électron qui tourne autour de son noyau devrait normalement **rayonner de la lumière**.
- Dans ce cas, il **perdrait de l'énergie**, et tomberait peu à peu sur le noyau !

## Le modèle de Rutherford (2)

### Les limites du modèle de Rutherford :

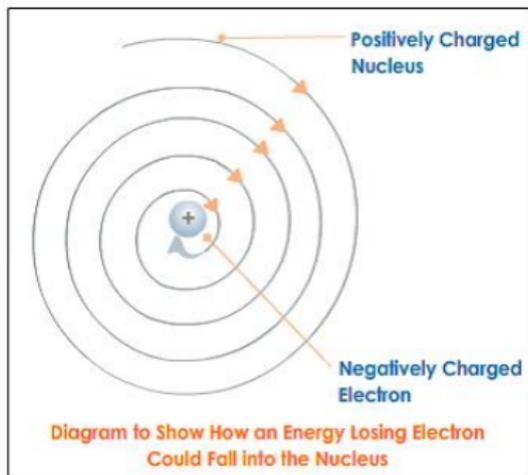
- Problème : un électron qui tourne autour de son noyau devrait normalement **rayonner de la lumière**.
- Dans ce cas, il **perdrait de l'énergie**, et tomberait peu à peu sur le noyau !



# Le modèle de Rutherford (2)

## Les limites du modèle de Rutherford :

- Problème : un électron qui tourne autour de son noyau devrait normalement **rayonner de la lumière**.
- Dans ce cas, il **perdrait de l'énergie**, et tomberait peu à peu sur le noyau !



# Le modèle de Bohr (1)

Bohr quantifie l'énergie (1913) :

- Borh propose de contourner le problème de stabilité des atomes

# Le modèle de Bohr (1)

Bohr quantifie l'énergie (1913) :

- Borh propose de contourner le problème de stabilité des atomes
- Il affirme que les orbites des électrons, et donc les énergies, sont **FIXES** ! ...mais il **n'explique pas pourquoi**.

# Le modèle de Bohr (1)

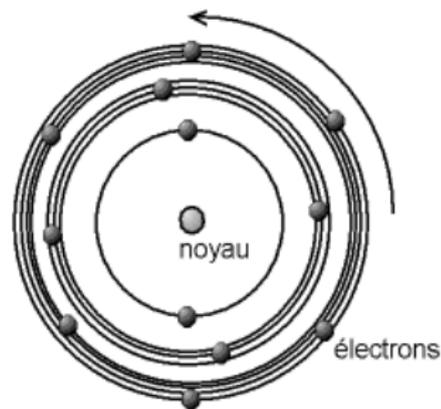
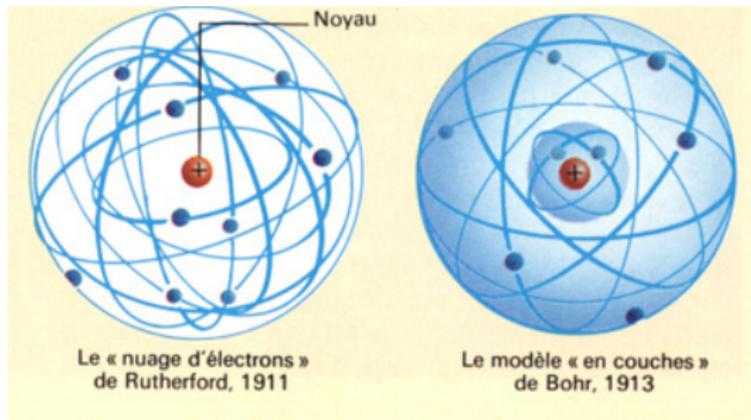
Bohr quantifie l'énergie (1913) :

- Borh propose de contourner le problème de stabilité des atomes
- Il affirme que les orbites des électrons, et donc les énergies, sont **FIXES** ! ...mais il **n'explique pas pourquoi**.
- Pour la première fois, les électrons sont **répartis en couches** superposées !

# Le modèle de Bohr (1)

Bohr quantifie l'énergie (1913) :

- Bohr propose de contourner le problème de stabilité des atomes
- Il affirme que les orbites des électrons, et donc les énergies, sont **FIXES** ! ...mais il **n'explique pas pourquoi**.
- Pour la première fois, les électrons sont **répartis en couches** superposées !



## Le modèle de Bohr (2)

- Ce tour de passe-passe permet d'expliquer les phénomènes **spectroscopiques** :

## Le modèle de Bohr (2)

- Ce tour de passe-passe permet d'expliquer les phénomènes **spectroscopiques** :
  - quand un électron change d'orbite, il change d'énergie :  
il peut en **absorber** par **chauffage**,  
et en **rendre** par **émission de lumière** !

## Le modèle de Bohr (2)

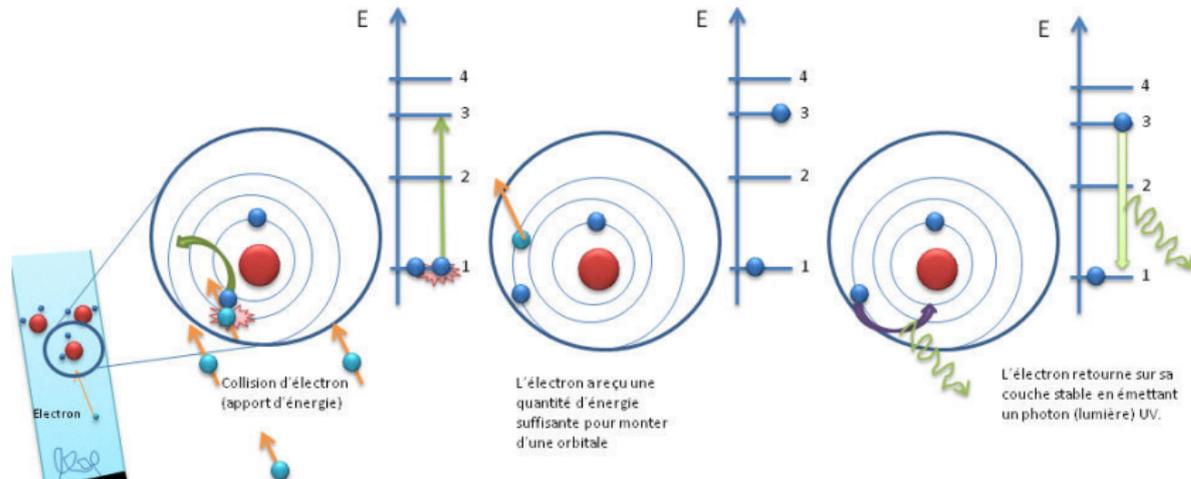
- Ce tour de passe-passe permet d'expliquer les phénomènes **spectroscopiques** :
  - quand un électron change d'orbite, il change d'énergie : il peut en **absorber** par **chauffage**, et en **rendre** par **émission de lumière** !
  - Seules **certaines couleurs** sont émises par **certains atomes**, et le modèle de Bohr l'explique bien, pour la première fois.

## Le modèle de Bohr (2)

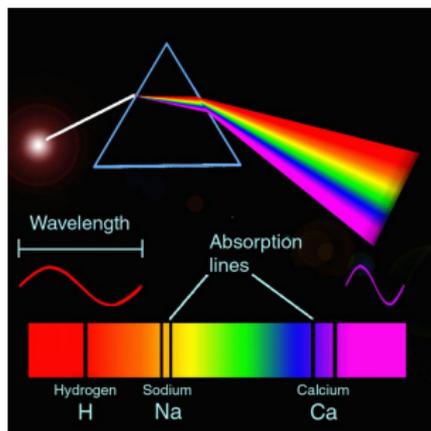
- Ce tour de passe-passe permet d'expliquer les phénomènes **spectroscopiques** :
  - quand un électron change d'orbite, il change d'énergie : il peut en **absorber** par **chauffage**, et en **rendre** par **émission de lumière** !
  - Seules **certaines couleurs** sont émises par **certains atomes**, et le modèle de Bohr l'explique bien, pour la première fois.

# Le modèle de Bohr (2)

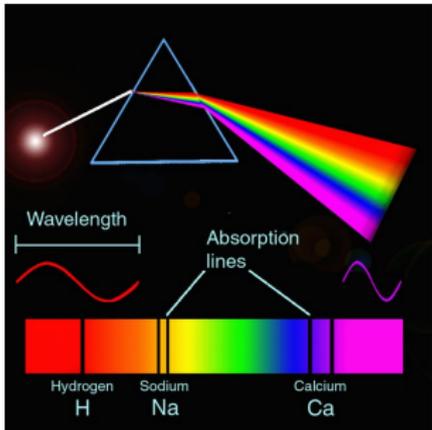
- Ce tour de passe-passe permet d'expliquer les phénomènes **spectroscopiques** :
  - quand un électron change d'orbite, il change d'énergie : il peut en **absorber** par **chauffage**, et en **rendre** par **émission de lumière** !
  - Seules **certaines couleurs** sont émises par **certains atomes**, et le modèle de Bohr l'explique bien, pour la première fois.



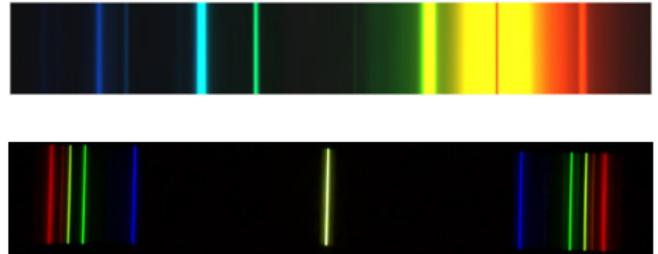
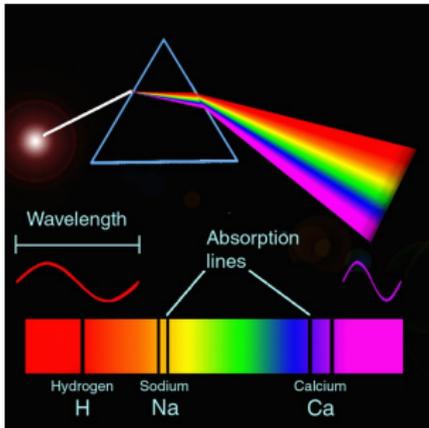
# Le modèle de Bohr (3)



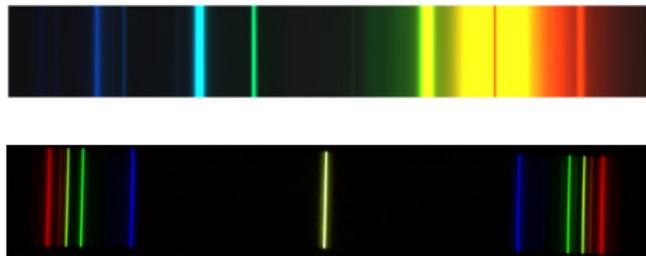
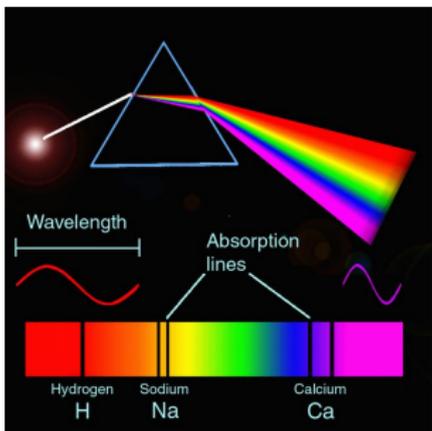
# Le modèle de Bohr (3)



# Le modèle de Bohr (3)



# Le modèle de Bohr (3)



- ...Mais la **stabilité** de l'atome n'est toujours pas expliquée !

# L'atome aujourd'hui : la Mécanique Quantique

Une image du modèle quantique :

- Les électrons ne sont plus des billes, mais des nuages.

# L'atome aujourd'hui : la Mécanique Quantique

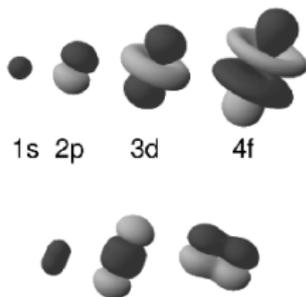
Une image du modèle quantique :

- Les électrons ne sont plus des billes, mais des nuages.
- La densité des nuages image la probabilité de présence des électrons.

# L'atome aujourd'hui : la Mécanique Quantique

Une image du modèle quantique :

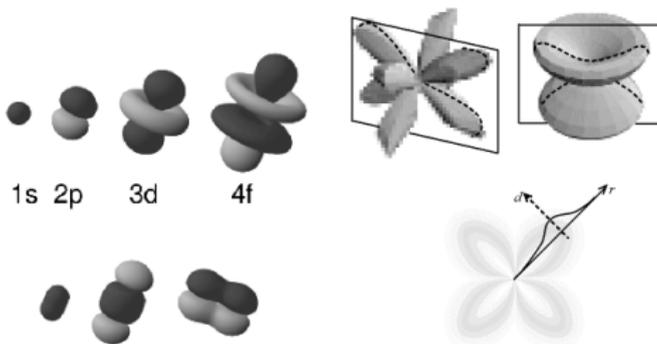
- Les électrons ne sont plus des billes, mais des nuages.
- La densité des nuages image la probabilité de présence des électrons.



# L'atome aujourd'hui : la Mécanique Quantique

Une image du modèle quantique :

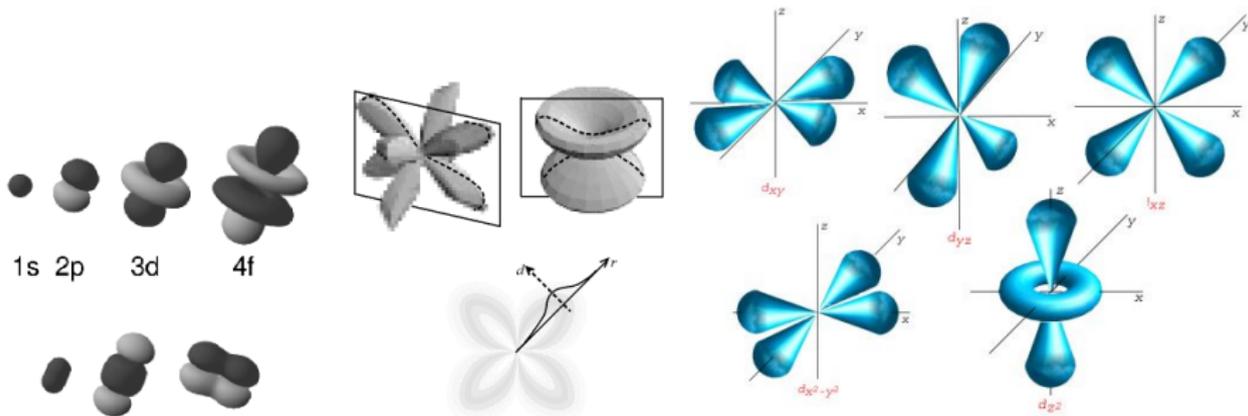
- Les électrons ne sont plus des billes, mais des nuages.
- La densité des nuages image la probabilité de présence des électrons.



# L'atome aujourd'hui : la Mécanique Quantique

Une image du modèle quantique :

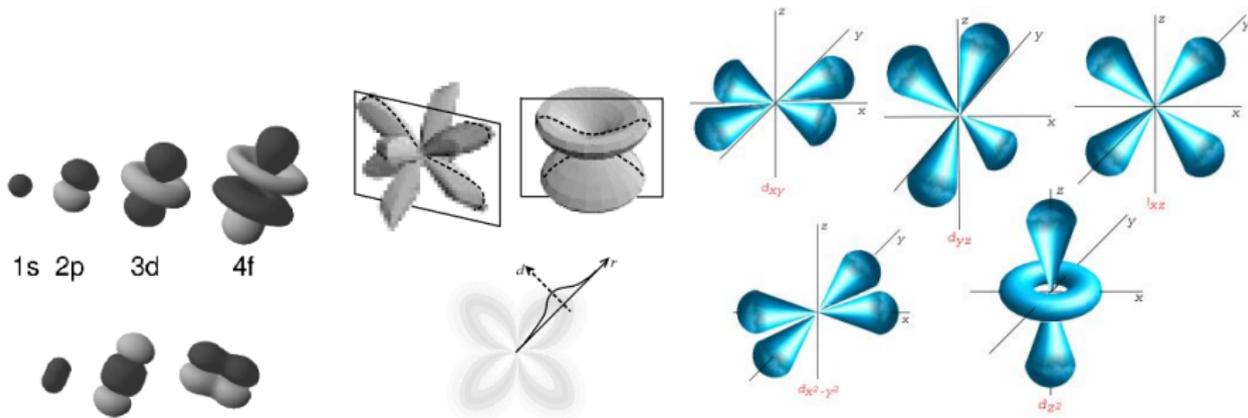
- Les électrons ne sont plus des billes, mais des nuages.
- La densité des nuages image la probabilité de présence des électrons.



# L'atome aujourd'hui : la Mécanique Quantique

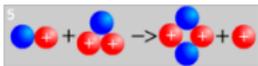
Une image du modèle quantique :

- Les électrons ne sont plus des billes, mais des nuages.
- La densité des nuages image la probabilité de présence des électrons.



- Comme ils ne sont plus en rotation, ils ne perdent plus d'énergie : l'atome est enfin stable !

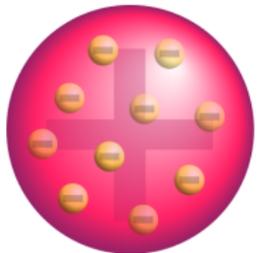
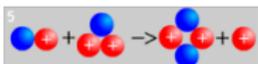
# De modèle en modèle... on avance!



## Modèle de Dalton

On fait le lien entre la chimie et la structure discrète de la matière : les atomes.

# De modèle en modèle... on avance!



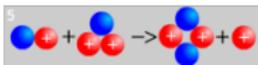
## Modèle de Dalton

On fait le lien entre la chimie et la structure discrète de la matière : les atomes.

## Modèle de Thomson

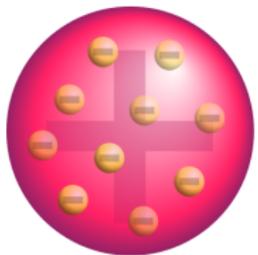
On fait le lien entre l'atome et les électrons !  
Ex : la polarisabilité.

# De modèle en modèle... on avance !



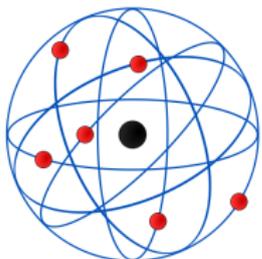
## Modèle de Dalton

On fait le lien entre la chimie et la structure discrète de la matière : les atomes.



## Modèle de Thomson

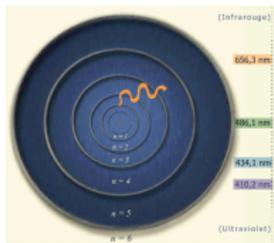
On fait le lien entre l'atome et les électrons !  
Ex : la polarisabilité.



## Modèle de Rutherford

L'atome contient un noyau massif et chargé positivement !

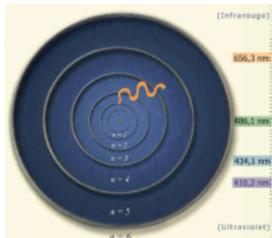
# De modèle en modèle... on avance!



## Modèle de Bohr

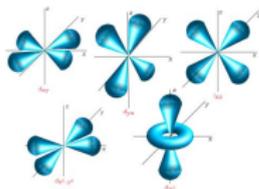
On explique la lumière émise par les atomes excités!

# De modèle en modèle... on avance !



## Modèle de Bohr

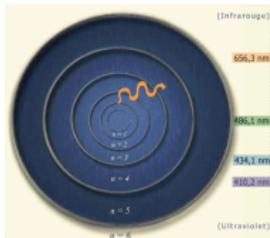
On explique la lumière émise par les atomes excités !



## Modèle quantique

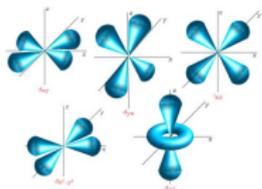
On explique stabilité de l'atome, la forme molécules et toutes les réactions chimiques !

# De modèle en modèle... on avance!



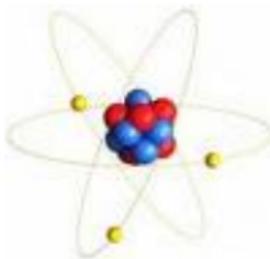
## Modèle de Bohr

On explique la lumière émise par les atomes excités!



## Modèle quantique

On explique stabilité de l'atome, la forme molécules et toutes les réactions chimiques!

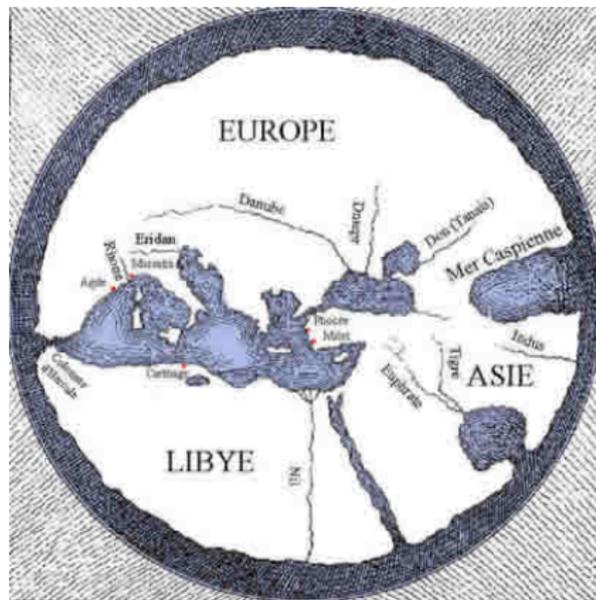


## ...What's next???

Modèles du noyau : nucléons, quarks, etc.

# Le refroidissement de la planète Terre

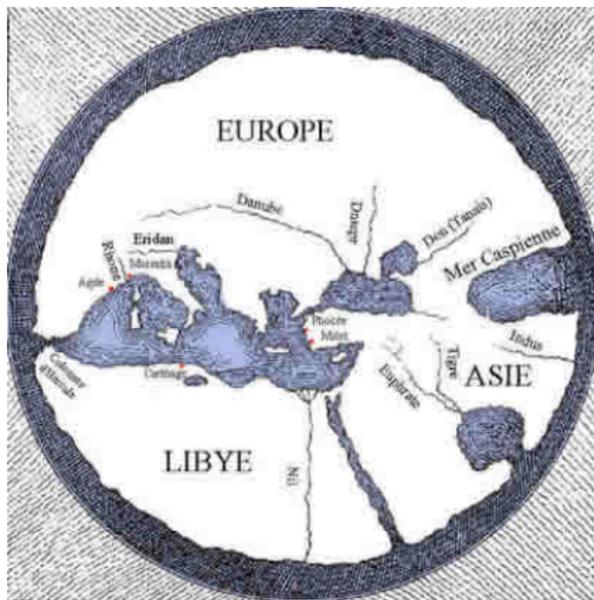
# Quel est l'âge de la Terre???



*"Je suppose aussi que le monde a perpétuellement existé, comme Aristote semblait l'entendre, [...] bien que ce soit faux au gré de notre foi"*

Buridan (1300-1358).

# Quel est l'âge de la Terre???

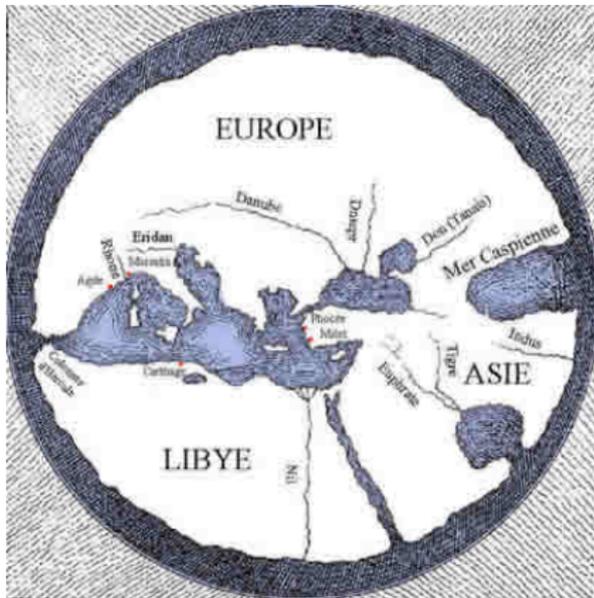


- Antiquité : pour Aristote, la terre est **éternelle** et **immuable**.

*"Je suppose aussi que le monde a perpétuellement existé, comme Aristote semblait l'entendre, [...] bien que ce soit faux au gré de notre foi"*

Buridan (1300-1358).

# Quel est l'âge de la Terre???



- Antiquité : pour Aristote, la terre est **éternelle** et **immuable**.
- Jusqu'au 16<sup>e</sup> siècle, l'Eglise affirme que la Terre, centre du monde, a été créée 5500 ans avant la naissance du Christ ...en sommant les âges des personnages bibliques!

*"Je suppose aussi que le monde a perpétuellement existé, comme Aristote semblait l'entendre, [...] bien que ce soit faux au gré de notre foi"*

Buridan (1300-1358).

# Quel est l'âge de la Terre ???



- 16<sup>e</sup> siècle : "révolution" copernicienne et réaction de l'Eglise.

# Quel est l'âge de la Terre ???



- 16<sup>e</sup> siècle : "révolution" copernicienne et réaction de l'Eglise.
- 17<sup>e</sup> siècle : **Ussher** estime avec une précision aigüe que la Terre a été créée le 23 octobre de l'an 4004 avant J.C. !!

# Quel est l'âge de la Terre ???



- 16<sup>e</sup> siècle : "révolution" copernicienne et réaction de l'Eglise.
- 17<sup>e</sup> siècle : **Ussher** estime avec une précision aigüe que la Terre a été créée le 23 octobre de l'an 4004 avant J.C. !!
- **Mersenne, Kepler, Newton** font aussi des propositions du même ordre !...

# Quel est l'âge de la Terre ???



- 16<sup>e</sup> siècle : "révolution" copernicienne et réaction de l'Eglise.
- 17<sup>e</sup> siècle : **Ussher** estime avec une précision aigüe que la Terre a été créée le 23 octobre de l'an 4004 avant J.C. !!
- **Mersenne, Kepler, Newton** font aussi des propositions du même ordre !...
- ...jusqu'à ce que les géologues s'en mêlent (18<sup>e</sup> siècle).

# Quel est l'âge de la Terre???



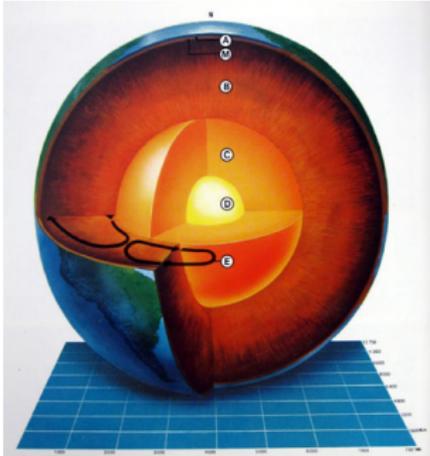
- 16<sup>e</sup> siècle : "révolution" copernicienne et réaction de l'Eglise.
- 17<sup>e</sup> siècle : **Ussher** estime avec une précision aigüe que la Terre a été créée le 23 octobre de l'an 4004 avant J.C.!!
- **Mersenne, Kepler, Newton** font aussi des propositions du même ordre!...
- ...jusqu'à ce que les géologues s'en mêlent (18<sup>e</sup> siècle).

• Salinité des océans + dépôts sédimentaires : **jusqu'à 400 Ma!!!**

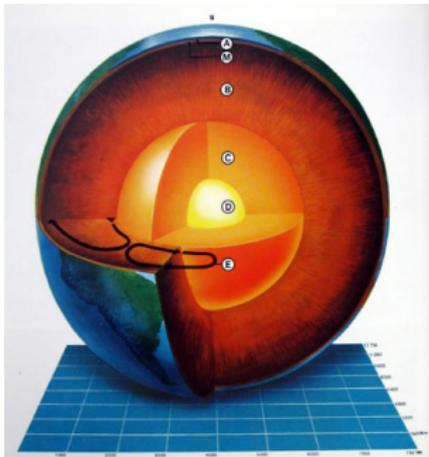
# Modélisation du refroidissement

# Le refroidissement par CONDUCTION thermique

- **Kelvin** est l'un des physiciens les plus connus du monde à son époque :  
**conduction thermique !**

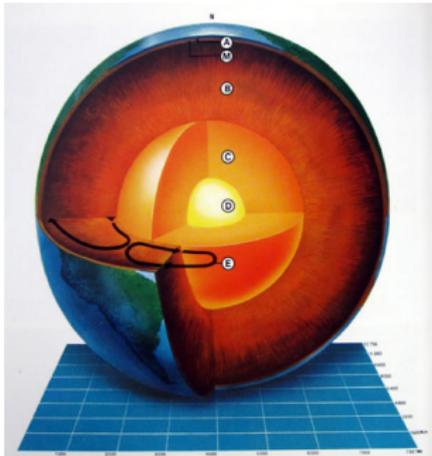


# Le refroidissement par CONDUCTION thermique



- **Kelvin** est l'un des physiciens les plus connus du monde à son époque :  
**conduction thermique !**
- Modèle :

# Le refroidissement par CONDUCTION thermique



- **Kelvin** est l'un des physiciens les plus connus du monde à son époque :  
**conduction thermique !**
- Modèle :
  - Terre homogène, initialement en fusion

# Le refroidissement par CONDUCTION thermique



- **Kelvin** est l'un des physiciens les plus connus du monde à son époque :  
**conduction thermique !**
- Modèle :
  - Terre homogène, initialement en fusion
  - Refroidissement par **conduction thermique**

# Le refroidissement par CONDUCTION thermique



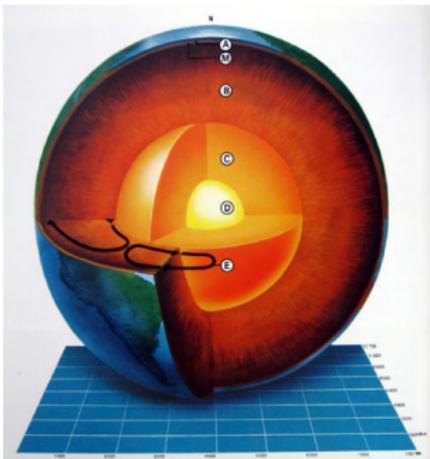
- **Kelvin** est l'un des physiciens les plus connus du monde à son époque :  
**conduction thermique !**
- Modèle :
  - Terre homogène, initialement en fusion
  - Refroidissement par **conduction thermique**
  - Pas de mouvement interne du Manteau terrestre !

# Le refroidissement par CONDUCTION thermique



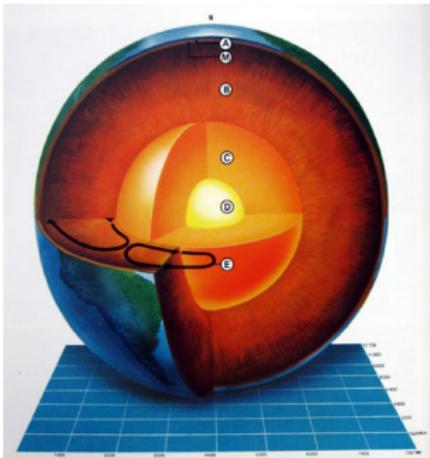
- **Kelvin** est l'un des physiciens les plus connus du monde à son époque :  
**conduction thermique !**
- Modèle :
  - Terre homogène, initialement en fusion
  - Refroidissement par **conduction thermique**
  - Pas de mouvement interne du Manteau terrestre !
  - Variation de Température en surface :  $37^{\circ}\text{C}/\text{km}$

# Le refroidissement par CONDUCTION thermique



- **Kelvin** est l'un des physiciens les plus connus du monde à son époque :  
**conduction thermique !**
- Modèle :
  - Terre homogène, initialement en fusion
  - Refroidissement par **conduction thermique**
  - Pas de mouvement interne du Manteau terrestre !
  - Variation de Température en surface :  $37^{\circ}\text{C}/\text{km}$
- $\rightarrow$  Age de la Terre : 100 Ma

# Le refroidissement par CONDUCTION thermique



- **Kelvin** est l'un des physiciens les plus connus du monde à son époque :  
**conduction thermique !**

- Modèle :

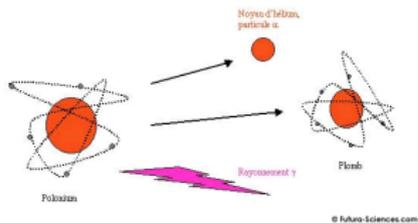
- Terre homogène, initialement en fusion
- Refroidissement par **conduction thermique**
- Pas de mouvement interne du Manteau terrestre !
- Variation de Température en surface :  $37^{\circ}\text{C}/\text{km}$

- -> Age de la Terre : 100 Ma

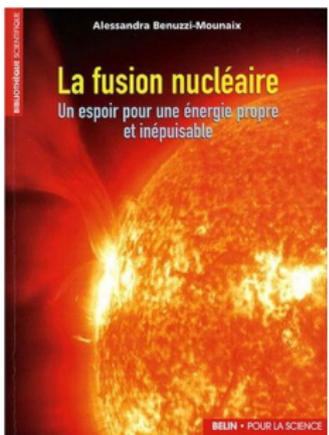
- -> **Polémique avec les géologues (-> 400 Ma)**

# Le Rôle de la radioactivité

## La désintégration radioactive

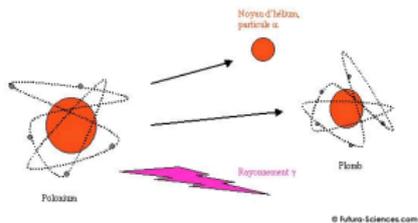


- 1896 : Becquerel découvre la **radioactivité**.

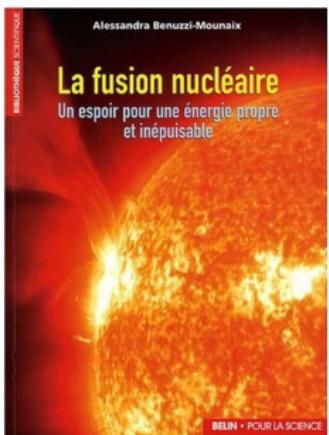


# Le Rôle de la radioactivité

## La désintégration radioactive

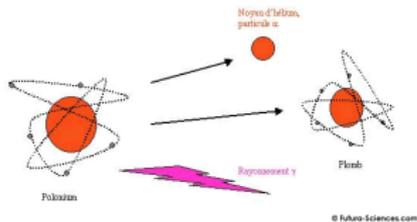


- 1896 : Becquerel découvre la **radioactivité**.
- Les processus spontanés de radioactivité libèrent une **énergie énorme** !

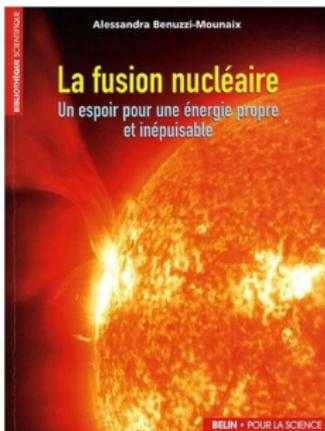


# Le Rôle de la radioactivité

## La désintégration radioactive

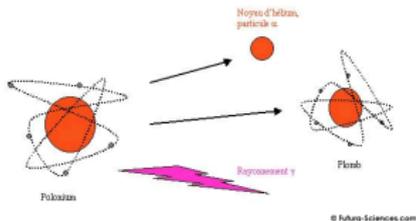


- 1896 : Becquerel découvre la **radioactivité**.
- Les processus spontanés de radioactivité libèrent une **énergie énorme** !
- Le modèle de Kelvin est alors **invalidé**.

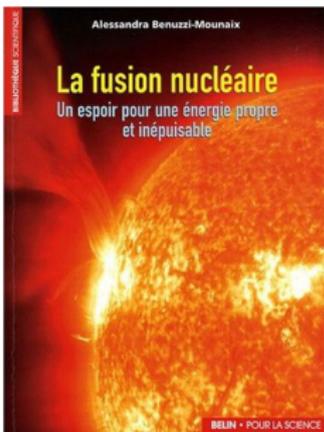


# Le Rôle de la radioactivité

## La désintégration radioactive

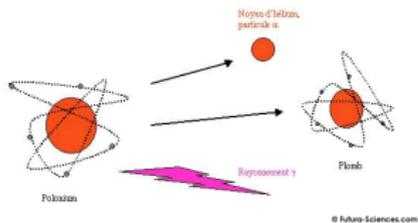


- 1896 : Becquerel découvre la **radioactivité**.
- Les processus spontanés de radioactivité libèrent une **énergie énorme** !
- Le modèle de Kelvin est alors **invalidé**.
- Rebelote, en tenant compte de cette **énergie interne**.

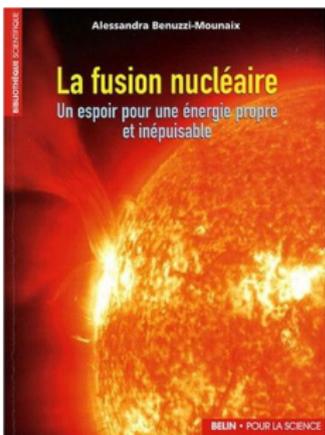


# Le Rôle de la radioactivité

## La désintégration radioactive

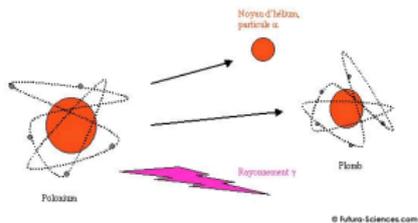


- 1896 : Becquerel découvre la **radioactivité**.
- Les processus spontanés de radioactivité libèrent une **énergie énorme** !
- Le modèle de Kelvin est alors **invalidé**.
- Rebelote, en tenant compte de cette **énergie interne**.
- Estimations de Rutherford (500 Ma), Rayleigh (1 Ga) et Boltwood (1,6 Ga).

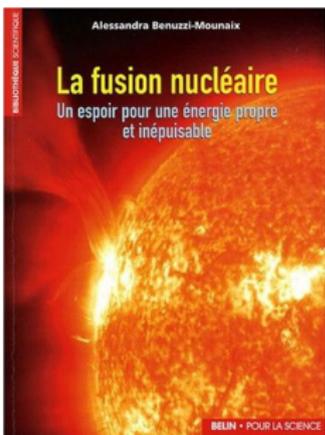


# Le Rôle de la radioactivité

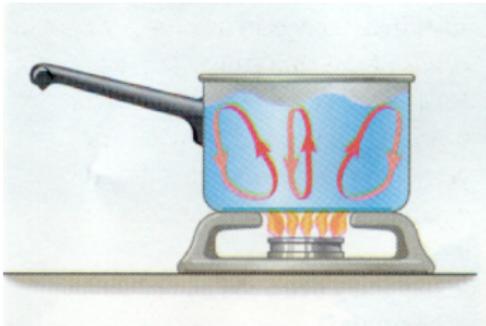
## La désintégration radioactive



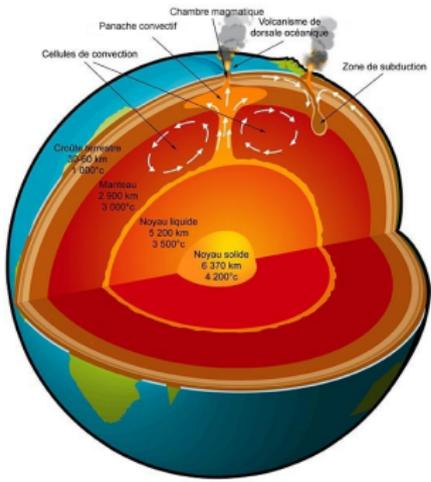
- 1896 : Becquerel découvre la **radioactivité**.
- Les processus spontanés de radioactivité libèrent une **énergie énorme** !
- Le modèle de Kelvin est alors **invalidé**.
- Rebelote, en tenant compte de cette **énergie interne**.
- Estimations de Rutherford (500 Ma), Rayleigh (1 Ga) et Boltwood (1,6 Ga).
  
- -> **Maintenant c'est la géologie qui est en retard !**



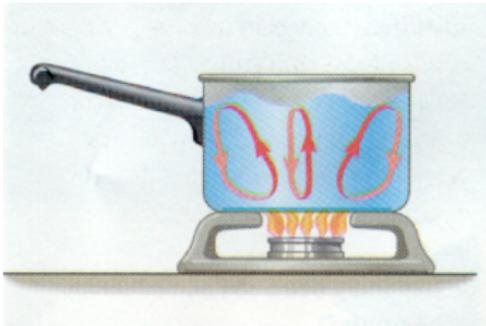
# Le refroidissement par CONVECTION thermique



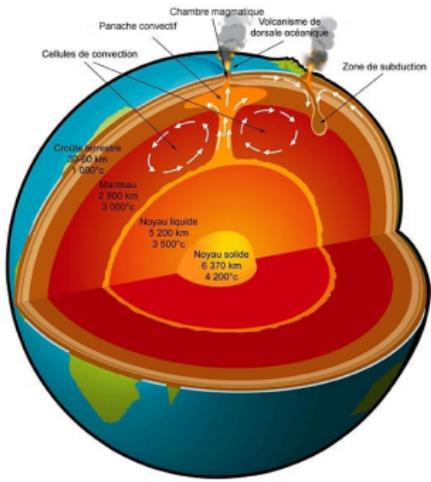
- 1970 : On connaît désormais l'âge de la Terre : 4.55 Ga



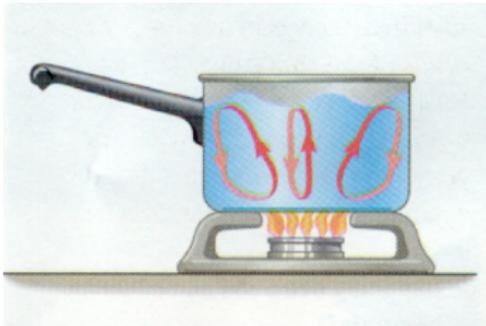
# Le refroidissement par CONVECTION thermique



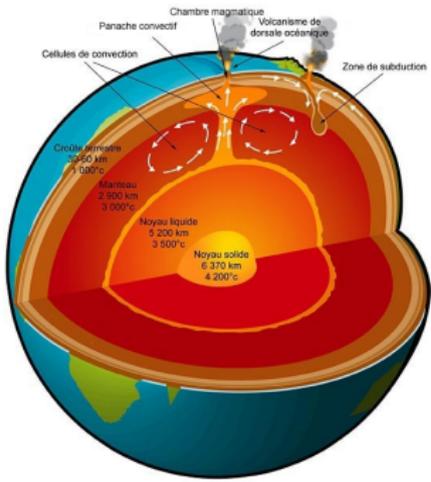
- 1970 : On connaît désormais l'âge de la Terre : 4.55 Ga
- On tient compte de la **convection thermique**.



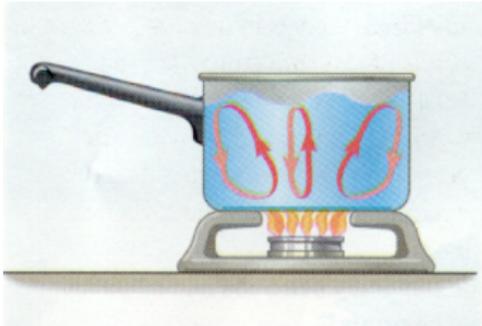
# Le refroidissement par CONVECTION thermique



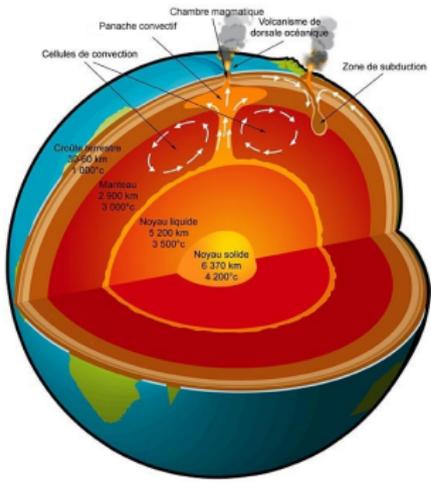
- 1970 : On connaît désormais l'âge de la Terre : 4.55 Ga
- On tient compte de la **convection thermique**.
- Modèle :



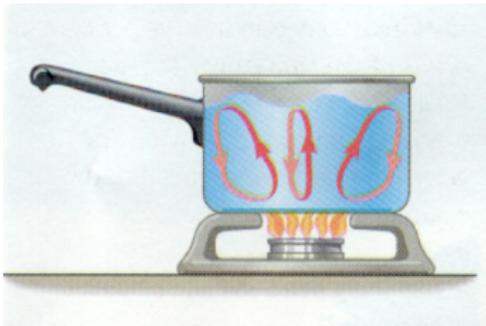
# Le refroidissement par CONVECTION thermique



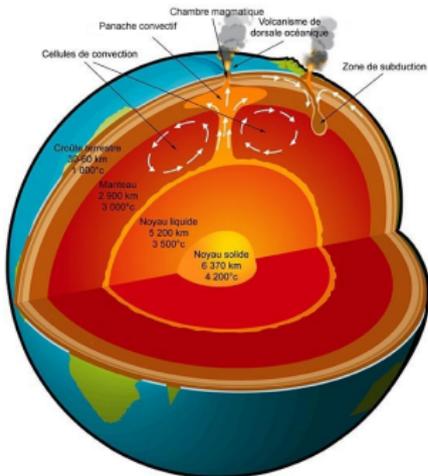
- 1970 : On connaît désormais l'âge de la Terre : 4.55 Ga
- On tient compte de la **convection thermique**.
- Modèle :
  - Mouvements internes : mélange !



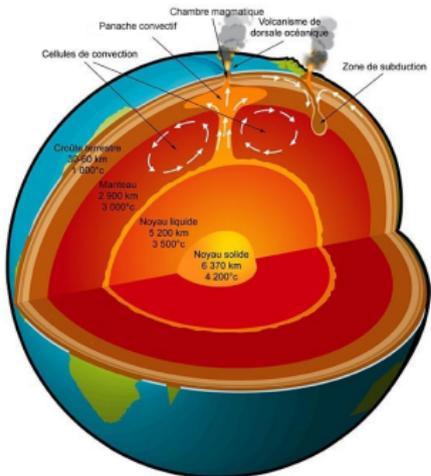
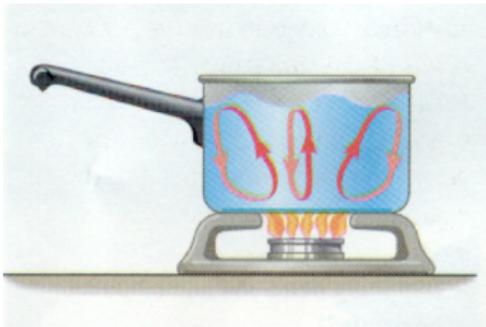
# Le refroidissement par CONVECTION thermique



- 1970 : On connaît désormais l'âge de la Terre : 4.55 Ga
- On tient compte de la **convection thermique**.
- Modèle :
  - Mouvements internes : mélange !
  - -> Refroidissement **très efficace** ! (Kelvin le savait sans doute)

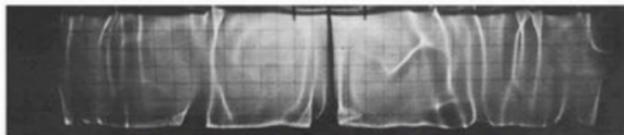


# Le refroidissement par CONVECTION thermique



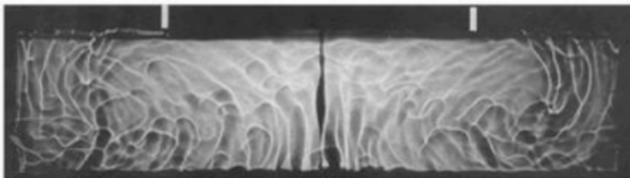
- 1970 : On connaît désormais l'âge de la Terre : 4.55 Ga
- On tient compte de la **convection thermique**.
- Modèle :
  - Mouvements internes : mélange !
  - -> Refroidissement **très efficace** ! (Kelvin le savait sans doute)
- *Grigné et al, 2005* : refroidissement "**trop efficace**" dans sa jeunesse ! (conduit à un flux de chaleur actuel trop faible)

# Les continents comme ISOLANTS thermiques ?



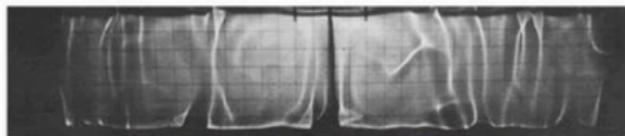
Expérience analogique de convection sans continent

- Sans continent :  
Panaches isolés, désorganisés



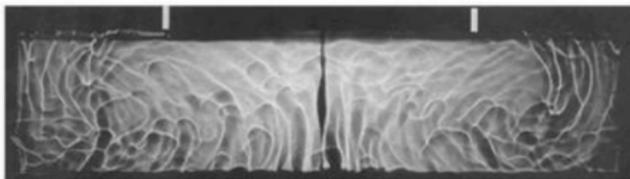
Expérience analogique de convection AVEC continent  
(plaque de plastique entre les marques blanches) à  $Rayleigh = 2 \times 10^7$

# Les continents comme ISOLANTS thermiques ?



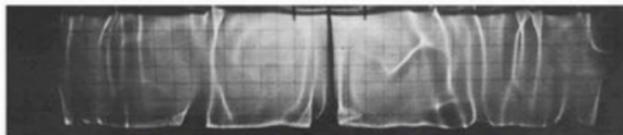
Expérience analogique de convection sans continent

- Sans continent :  
Panaches isolés, désorganisés
- On tient compte des **continents**  
comme **couvercles** !

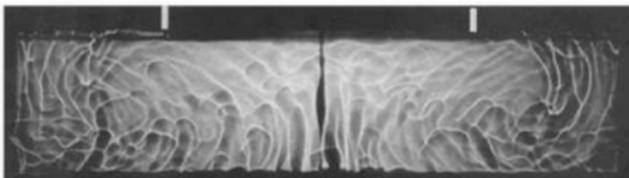


Expérience analogique de convection AVEC continent  
(plaque de plastique entre les marques blanches) à  $Rayleigh = 2 \times 10^7$

# Les continents comme ISOLANTS thermiques ?



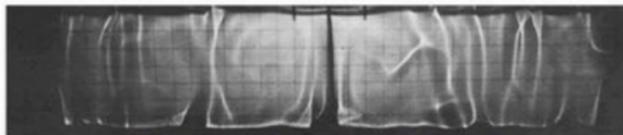
Expérience analogique de convection sans continent



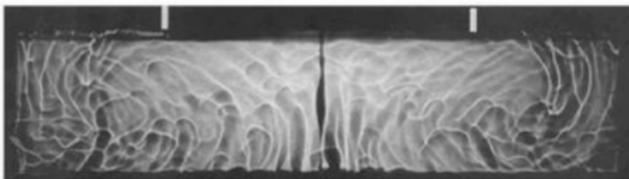
Expérience analogique de convection AVEC continent  
(plaque de plastique entre les marques blanches) à  $Rayleigh = 2 \times 10^7$

- Sans continent :  
Panaches isolés, désorganisés
- On tient compte des **continents**  
comme **couvercles** !
- Modèle :

# Les continents comme ISOLANTS thermiques ?



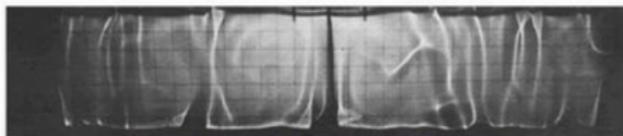
Expérience analogique de convection sans continent



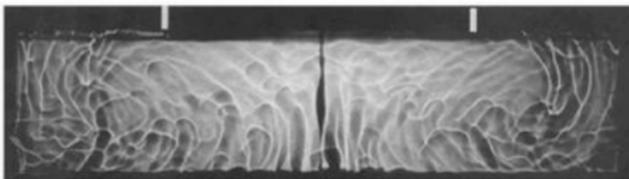
Expérience analogique de convection AVEC continent  
(plaque de plastique entre les marques blanches) à  $Rayleigh = 2 \times 10^7$

- Sans continent :  
Panaches isolés, désorganisés
- On tient compte des **continents**  
comme **couvercles** !
- Modèle :
  - Conduction + Convection  
+ continents !

# Les continents comme ISOLANTS thermiques ?



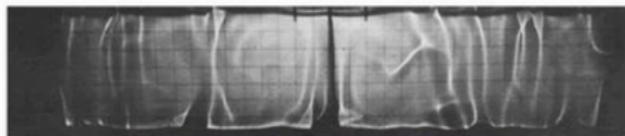
Expérience analogique de convection sans continent



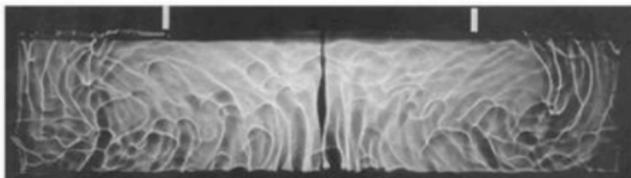
Expérience analogique de convection AVEC continent  
(plaque de plastique entre les marques blanches) à  $Rayleigh = 2 \times 10^7$

- Sans continent :  
Panaches isolés, désorganisés
- On tient compte des **continents** comme **couvercles** !
- Modèle :
  - Conduction + Convection + continents !
  - -> les panaches s'organisent en **cellule de convection**

# Les continents comme ISOLANTS thermiques ?



Expérience analogique de convection sans continent



Expérience analogique de convection AVEC continent  
(plaque de plastique entre les marques blanches) à Rayleigh = 2x10<sup>7</sup>

- Sans continent :  
Panaches isolés, désorganisés
- On tient compte des **continents** comme **couvercles** !
- Modèle :
  - Conduction + Convection + continents !
  - -> les panaches s'organisent en **cellule de convection**

- *Grigné et al, 2007* :  
-> Le refroidissement actuel s'accorde avec l'âge de la Terre.

# Conclusion

## Conclusion

- Les résultats d'un modèle contiennent toujours ce qu'on a décidé d'y mettre.

# Conclusion

- Les résultats d'un modèle contiennent toujours ce qu'on a décidé d'y mettre.
- Concilier les **biais** et les **objectifs**

# Conclusion

- Les résultats d'un modèle contiennent toujours ce qu'on a décidé d'y mettre.
- Concilier les **biais** et les **objectifs**
- Importance de la **rétroaction** : modèle  $\rightarrow$  expérience  $\rightarrow$  modèle  $\rightarrow$

# Conclusion

- Les résultats d'un modèle contiennent toujours ce qu'on a décidé d'y mettre.
- Concilier les **biais** et les **objectifs**
- Importance de la **rétroaction** : modèle  $\rightarrow$  expérience  $\rightarrow$  modèle  $\rightarrow$
- Un modèle est une représentation **fausse** car simplifiée du réel.  
**Mais** ses résultats sont instructifs, même quand ils sont très écartés de la réalité.

# Conclusion

- Beaucoup de choses autour de nous sont expliquées...  
...par des modèles faux!

## Conclusion

- Beaucoup de choses autour de nous sont expliquées...  
...par des modèles faux!
- La Terre **tourne par gravitation** autour du Soleil

## Conclusion

- Beaucoup de choses autour de nous sont expliquées...  
...par des modèles faux!
- La Terre **tourne par gravitation** autour du Soleil
- La pomme **tombe par gravitation** sur le sol

## Conclusion

- Beaucoup de choses autour de nous sont expliquées...  
...par des modèles faux!
- La Terre **tourne par gravitation** autour du Soleil
- La pomme **tombe par gravitation** sur le sol
- Les mirages sont dus à la déviation des rayons lumineux

## Conclusion

- Beaucoup de choses autour de nous sont expliquées...  
...par des modèles faux !
- La Terre **tourne par gravitation** autour du Soleil
- La pomme **tombe par gravitation** sur le sol
- Les mirages sont dus à la déviation des rayons lumineux
- Contact entre deux solides : selon le niveau de détail...

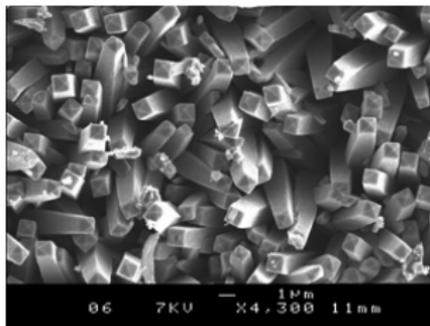
# Conclusion

- Beaucoup de choses autour de nous sont expliquées...  
...par des modèles faux !
- La Terre **tourne par gravitation** autour du Soleil
- La pomme **tombe par gravitation** sur le sol
- Les mirages sont dus à la déviation des rayons lumineux
- Contact entre deux solides : selon le niveau de détail...



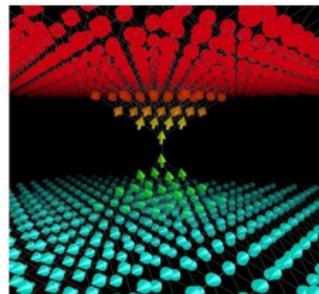
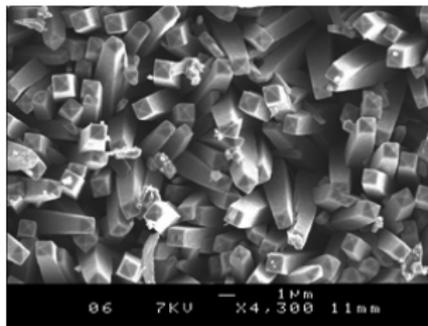
# Conclusion

- Beaucoup de choses autour de nous sont expliquées...  
...par des modèles faux !
- La Terre **tourne par gravitation** autour du Soleil
- La pomme **tombe par gravitation** sur le sol
- Les mirages sont dus à la déviation des rayons lumineux
- Contact entre deux solides : selon le niveau de détail...



# Conclusion

- Beaucoup de choses autour de nous sont expliquées...  
...par des modèles faux !
- La Terre **tourne par gravitation** autour du Soleil
- La pomme **tombe par gravitation** sur le sol
- Les mirages sont dus à la déviation des rayons lumineux
- Contact entre deux solides : selon le niveau de détail...





Merci de Votre Attention

# La modélisation en Physique : un outil trop performant ?

Manuel COMBES

Centre Européen de Réalité Virtuelle

[combes@enib.fr](mailto:combes@enib.fr)

16 mars 2010

